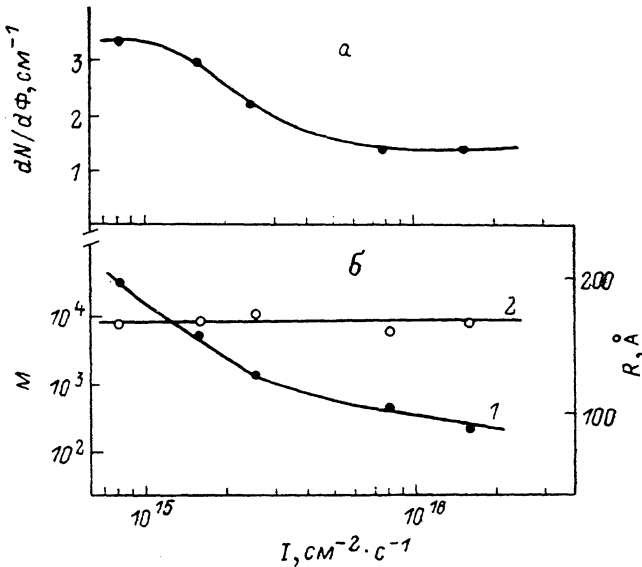


ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИВАКАНСИЙ В НЕЙТРОННО-ОБЛУЧЕННОМ КРЕМНИИ

Антонова И. В., Васильев А. В., Панов В. И., Шаймеев С. С.

Известно, что в кремнии, облученном быстрыми нейтронами, радиационные дефекты локализованы преимущественно в разупорядоченных областях (РО), которые в основном и определяют электрофизические свойства облученного материала. В зависимости от условий облучения характеристики РО могут существенно различаться [1, 2], поэтому успешное решение задачи прогнозирования радиационных изменений характеристик кристаллов при нейтронном облучении требует конкретного знания величин параметров РО и их зависимости от условий облучения.

В ряде работ (см., например, [3, 4]) были предприняты попытки определить параметры распределения дивакансий в РО, однако приведенные в этих работах



Зависимость скорости введения дивакансий (а), среднего числа дивакансий в одной РО (б, 1) и характерного размера ядра РО (б, 2) от интенсивности нейтронного облучения.

расчеты, как правило, основывались на косвенных данных. В настоящее время разработана методика [5], позволяющая извлекать количественную информацию о параметрах дивакансионного ядра РО.

Цель данной работы — определение с использованием метода [5] усредненных параметров, характеризующих РО, и исследование их зависимости от интенсивности облучения быстрыми нейтронами.

В качестве исходного материала использовался кремний *n*-типа с концентрацией фосфора $5 \cdot 10^{15}$ см⁻³. Образцы облучались импульсами реакторных нейтронов при температурах близких к комнатной. Интенсивность потока варьировалась в пределах от $8 \cdot 10^{14}$ до $1.6 \cdot 10^{16}$ см⁻²·с⁻¹. Доза облучения набиралась увеличением числа импульсов и менялась в интервале $1.8 \cdot 10^{15} - 10^{14}$ см⁻². Методом DLTS определялись концентрации основных типов дефектов, вводимых в кремний нейтронным облучением, и рассчитывались скорости их введения. На рисунке, а приведены скорости введения дивакансий, определенные по пику DLTS, связанному с отрицательно заряженной дивакансией W^- . Каждая экспериментальная точка на этом рисунке — усредненный результат измерений, полученных из наклона дозовой зависимости W^- , которая во всем исследуемом интервале интегральных потоков оставалась линейной. Видно,

что с ростом интенсивности облучения в исследованном интервале скорость введения дивакансий уменьшается примерно в 2.5 раза.

Однако, как было показано в [6], дивакансии, сосредоточенные в РО, заряжаются не все, а только некоторая их часть, которая определяется наличием потенциального барьера $\Delta\phi$ между РО и матрицей. Величина $\Delta\phi$ определяется как концентрацией дивакансий в ядре РО, так и концентрацией легирующей примеси в матрице кристалла [6]. Следовательно, кривая на рисунке, а отражает зависимость от интенсивности облучения концентрации дивакансий только в определенном зарядовом состоянии (W^-), информацию о полном числе дивакансий M и характерном радиусе их распределения в РО R_0 можно получить из температурной зависимости амплитуды пика DLTS [6].

Расчеты по методу [5] проводились в предположении, что распределение дивакансий в ядре описывается функцией Гаусса

$$N_W(R) = \frac{M}{(2\pi)^{3/2} R_0^3} \exp\left(-\frac{r^2}{2R_0^2}\right).$$

На рисунке, б (кривая 1) представлена зависимость полного числа дивакансий M в одной РО от интенсивности потока нейтронов. Каждая точка на этой кривой — усредненный результат определения M для нескольких доз облучения. Видно, что в исследуемом интервале интенсивностей число дивакансий в одной РО уменьшается более чем на 2 порядка, что существенно отличается от изменений, характерных для заряженных дивакансий (см. рисунок, а). Характерный размер в распределении дивакансий R_0 для всех использованных доз и интенсивностей облучения остается практически постоянным (см. рисунок, б, кривая 2) и составляет 170 \AA , в то время как максимальная концентрация дивакансий в ядре РО с ростом интенсивности облучения уменьшается от $4.4 \cdot 10^{20}$ до $2.6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Различие изменений концентрации дивакансий в зарядовом состоянии W^- и полного числа дивакансий M с ростом интенсивности связано с тем, что помимо существенного уменьшения полного числа дивакансий M в одной РО происходит уменьшение $\Delta\phi$ ($\Delta\phi \sim \ln M$ [5]), в результате чего доля заряженных дивакансий f возрастает. Два противоположных процесса (уменьшение M и рост f) приводят к тому, что концентрация дивакансий W^- меняется значительно слабее, чем M .

Полученные результаты хорошо описываются в рамках модельных представлений, развитых в [7], где уменьшение скоростей введения радиационных дефектов связывали с возрастанием эффективности аннигиляции вакансий и вакансионных комплексов с междоузельными атомами при увеличении интенсивности облучения.

Список литературы

- [1] Коноплева Р. Ф., Остроумов В. Н. Взаимодействие заряженных частиц высоких энергий с германием и кремнием. М., 1975. 127 с.
- [2] Kimerling L. C., Lang D. V. // Recombination-Enhanced Defect Reactions in Semiconductors. Conf. Ser. N 23. London—Bristol, 1975. P. 589—593.
- [3] Васильев А. В., Изтелеулов М. И., Смагулова С. А., Смирнов Л. С. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 11. С. 2073—2074.
- [4] Кузнецов В. И., Лугаков П. Ф. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 10. С. 1902—1904.
- [5] Антонова И. В., Васильев А. В., Панов В. И., Шаймеев С. С. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 8. С. 998—1003.
- [6] Васильев А. В., Смагулова С. А., Шаймеев С. С. // ФТП. 1982. Т. 16. В. 11. С. 1983—1986.
- [7] Аёшин А. И., Антонова И. В., Васильев А. В., Панов В. И., Шаймеев С. С. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 4. С. 692—697.

Институт физики полупроводников
СО АН СССР
Новосибирск

Получено 24.11.1988
Принято к печати 10.04.1989